

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE SENSORES DE DISTANCIA, CON
DIFERENTE PRINCIPIO DE MEDICIÓN, PARA DETERMINAR LAS
ESPECIFICACIONES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SCANNER
TRIDIMENSIONAL.**

**AUTOR:
ALEX PAÚL PÉREZ CHILQUINGA**

**TUTOR:
JAVIER ARTURO ROJAS URBANO**

Quito, febrero del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Alex Paúl Pérez Chiliquinga, con documento de identificación N° 171857348-6, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Trabajo de Titulación intitulado: “ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE SENSORES DE DISTANCIA, CON DIFERENTE PRINCIPIO DE MEDICIÓN, PARA DETERMINAR LAS ESPECIFICACIONES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SCANNER TRIDIMENSIONAL”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Alex Paúl Pérez Chiliquinga
Cédula: 171857348-6

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación “ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE SENSORES DE DISTANCIA, CON DIFERENTE PRINCIPIO DE MEDICIÓN, PARA DETERMINAR LAS ESPECIFICACIONES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SCANNER TRIDIMENSIONAL” realizado por Alex Paúl Pérez Chiliquinga, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2019.



.....
Javier Arturo Rojas Urbano
C.I: 020189802-0

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE SENSORES DE DISTANCIA , CON DIFERENTE PRINCIPIO DE MEDICIÓN , PARA DETERMINAR LAS ESPECIFICACIONES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SCANNER TRIDIMENSIONAL

COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE SENSORS OF DISTANCE, WITH DIFFERENT MEASURING PRINCIPLE, TO DETERMINE THE SPECIFICATIONS IN THE IMPLEMENTATION OF A THREE-DIMENSIONAL SCANNER

Alex Pérez¹, Javier Rojas², Gustavo Caiza³

Resumen

Un scanner tridimensional obtiene un modelo digital de cualquier objeto de forma detallada y rápida, basa su funcionamiento en la adquisición de medidas de distancia desde una referencia hacia el objeto, que al ser procesadas forman una nube de puntos tridimensional. La exactitud del modelo depende de las características del sensor de distancia, así como del procedimiento de muestreo. En el presente trabajo se realiza un estudio comparativo entre sensores de distancia de tipo infrarrojo y ultrasónico para definir su funcionalidad como parte activa de un scanner tridimensional. Se utiliza una estructura mecánica con base fija y capacidad de desplazamiento del sensor de distancia en los ejes x,y,z, controlada por una tarjeta arduino y una interfaz visual en MatLab que permite variar los parámetros de adquisición para así obtener datos cuantitativos y visualizar la nube de puntos tridimensional, de forma que se puedan comparar los resultados de cada sensor y establecer las mejores condiciones de operación en un scanner tridimensional.

Palabras Clave: scanner tridimensional, modelo digital, sensor de distancia, ultrasónico, infrarrojo.

Abstract

A three-dimensional scanner obtains a digital model of any object faster and more detailed than any other scanner. Its performance is based on the acquisition of distance measurements from a reference to the object that once processed form a three-dimensional point cloud. The accuracy of the model depends on the characteristics of the distance sensor, as well as the sampling procedure. For this work, a comparative study between types of infrared and ultrasonic distance sensors is carried out to define its functionality as an active part of a three-dimensional scanner. A mechanical structure with a fixed base and moving capability of the sensor on x, y and z, axis. Controlled by an Arduino board and MatLab as a visual interface, which allows varying the acquisition parameters in order to obtain quantitative data, and visualize the three-dimensional point cloud, so that the results of each sensor can be compared and establish the best operating conditions for a three-dimensional scanner

Keywords: Infrared sensor , ultrasonic sensor ,speed rotational movement ,swept, cylindrical, cubic.

¹ Egresado de Pre-grado en Ingeniería Electrónica (Mención Sistemas Industriales)- Universidad Politécnica Salesiana
Autor para correspondencia: aperezch@est.ups.edu.ec

² Magister Universitario en Electrónica Industrial, Ingeniero en Electrónica y Control, Docente-UPS

³ Magister Control y automatización industrial, Ingeniero Electrónico, Docente -UPS

1. Introducción

La impresión tridimensional de objetos ha tenido grandes avances en los últimos años llegando a convertirse en una herramienta de uso continuo en industrias como la mecánica, autopartes, ingeniería inversa y fabricación de juguetes, en las que se realizan piezas como piñones, ejes, rodamientos, entre otras, [1]. La facilidad para el prototipado y construcción de partes y piezas a partir de un modelo digital y en diferentes materiales ha despertado un gran interés en industrias que requieren de piezas a la medida y personalizadas como la industria de la rehabilitación física y médica para la construcción de férulas o prótesis a medida para el cuerpo humano [2], en especial por la posibilidad de realizar modificaciones o ajustes de forma rápida y sencilla mediante un computador.

Comúnmente el modelo digital es realizado por personal y equipos especializados, siendo un proceso complicado para obtener modelos en aplicaciones de reemplazo o replica de una determinada pieza o en la elaboración de artículos a la medida [3].

Un scanner tridimensional obtiene modelos digitales de objetos de forma rápida, su parte activa es un sensor que adquiere la distancia hacia cada punto del contorno del objeto que se ordenan y procesan digitalmente hasta reconstruir una imagen tridimensional. La exactitud y detalle del modelo depende directamente de las mediciones tomadas, así como de su procesamiento. En trabajos previos como [1] han evaluado el rendimiento de sensores de tiempo de vuelo, ToF, en una estructura de base rotatoria, obteniendo medidas con buena exactitud, en [5] se utiliza una estructura de base fija con barrido lineal, centrándose en el procesamiento de los datos adquiridos, en [14] se evalúa la combinación de un sensor de distancia con la adquisición e imágenes de una cámara obteniendo una mejor percepción de la profundidad del objeto y el entorno. En este artículo, se experimenta con sensores sin contacto y montados en una estructura que tiene una base fija con movimiento rotacional en el eje XY y con desplazamiento

lineal en el eje Z para los sensores de distancia de manera que rodee el objeto a escanear, esta configuración resulta de mucha utilidad cuando el objeto no puede rotar como en el caso de escaneo de extremidades del cuerpo humano para la construcción de férulas o implementos deportivos y de protección a la medida.

Para el control de la adquisición de datos se utiliza una tarjeta arduino en conjunto con un HMI implementado en Matlab, donde se procesan los datos para presentarlos de forma gráfica como una nube de puntos del contorno del objeto.

Para obtener valores comparativos entre los diferentes sensores se realiza la adquisición de datos a diferentes tiempos de muestreo, velocidad y sentido de barrido, distancia del objeto.

El artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección II se describe los conceptos básicos del estudio y metodología utilizada en la sección III se muestra el diseño del sistema de muestro y en la sección IV se detallan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Escáner Tridimensional

Un escáner tridimensional es un dispositivo electromecánico que permite adquirir el contorno de un objeto en forma de modelo digital de forma rápida y precisa, su funcionamiento se basa en medir la distancia desde la ubicación del elemento sensor hasta un punto sobre el objeto desde varios ángulos de referencia de forma que se cubra toda la superficie del objeto

2.1.1. Tipos de Escáner Tridimensional

Estructura de base móvil: El objeto está sobre una base móvil de modo que gira en su propio eje mientras que los sensores permanecen estáticos adquiriendo las diferentes medidas del contorno [1] y [4].

Estructura de base fija: El objeto permanece estático sobre una base fija mientras que los sensores giran a su alrededor adquiriendo las medidas del contorno. [5].

Estructura sin base: No tiene una estructura mecánica, sino más bien la instrumentación se mueve libremente, en este grupo se pueden incluir las tecnologías basadas en adquisición de imágenes desde diferentes ángulos.

Las estructuras con base disponen de un sistema de referencia fijo para las medidas, facilitando la agrupación de los datos para formar la nube de puntos mientras que la estructura sin base requiere al no dispone de referencias requiere un mayor procesamiento de datos. [5].

2.2. Hardware

2.2.1. Sensor de distancia

Es un dispositivo electrónico que permite determinar la distancia, constituye la parte activa y fundamental de un escáner tridimensional, de la precisión de este y de la forma en que se muestrea el objeto, depende la exactitud del modelo digital.

2.2.2. Sensor de distancia de contacto

Es un sensor que mide la distancia como función del tiempo que tarda su desplazamiento desde un punto fijo hasta hacer contacto con el objeto. Requiere de una estructura que se desplace el sensor a una determinada velocidad [5] y [6].

2.2.3. Sensor de distancia sin contacto

Es un sensor que utiliza medios de radiación como luz o ultrasonido, la distancia es determinada como función del tiempo de vuelo que toma en regresar la señal emitida al chocar con el objeto, requiere de un emisor y un receptor [6].

2.2.4. Métodos estereoscópicos

Se basan en la adquisición de imágenes digitales que permiten determinar la profundidad de un objeto, mediante el análisis de los píxeles o triangulación, en combinación con un sensor de distancia sin contacto que permite obtener mediciones de distancias más precisas. [5]

2.2.5. Sensor de distancia tipo infrarrojo

El sensor envía un rayo de luz infrarroja hacia el objeto y su reflejo es concentrado por un lente receptor para determinar la distancia mediante triangulación entre el emisor, objeto y receptor. El sensor entrega voltaje analógico que se interpreta como distancia mediante la ecuación (1)[6] y [7].

$$d = v \left(\frac{5}{1024} \right) \quad (1)$$

Donde:

d: distancia

v: voltaje

2.2.6. Sensor de distancia tipo ultrasónico

El sensor ultrasónico emite cíclicamente un pulso acústico de alta frecuencia y corta duración hacia el objeto y detecta el eco producido por el retorno de la señal midiendo el tiempo que tarda. La distancia se determina con la ecuación (2) [6] y [8].

$$d = \frac{(vs)}{2} \quad (2)$$

Donde:

d: distancia

vs: velocidad del sonido

t: tiempo transcurrido

2.2.7. Arduino

Es una plataforma electrónica de hardware y software libre, está conformado por un microcontrolador de la familia ATMEGA, que ofrece interfaces análogas, digitales y de comunicaciones suficientes para el desarrollo de sistemas de control; además tiene un entorno de desarrollo de programación básico que facilita y agiliza la configuración y programación [9].

En el presente estudio se utiliza la tarjeta Arduino UNO considerando la disponibilidad de entradas y salidas analógicas, digitales y PWM requerida para el manejo de la estructura mecánica, así como la adquisición de datos de los sensores.

2.2.8. MatLab

Es un sistema algebraico computacional que realiza análisis numéricos, cálculo matricial y vectorial, procesamiento de señales desplegando los resultados en su entorno gráfico en dos y tres dimensiones teniendo su propio lenguaje de programación [10]. Este software permitirá el arreglo de los datos para la formación de la nube de puntos tridimensional.

3. Diseño del Sistema de Muestreo

Es esta sección se presenta el diseño de la estructura de base fija para realizar diferentes pruebas a cada uno de los sensores mientras se realiza la adquisición de datos.

El mecanismo en el que se instala el sensor de distancia permite que tenga desplazamiento lineal y rotacional sobre el eje XY, en el cual, se encuentra la base fija, y desplazamiento lineal a lo largo del eje Z, cubriendo todo el contorno del objeto.

La estructura está compuesta por tres subsistemas: computacional, electromecánico y sensores. (Ver figura 1).

3.1 Sistema computacional

Es una interfaz hombre-máquina (HMI) desarrollada con el software computacional MatLab. Su función es permitir la visualización de los datos obtenidos por los sensores mientras se realiza la toma de muestras del contorno del objeto a escanear, también permite el ingreso de parámetros de experimentación como son la distancia de separación de los sensores, el desplazamiento rotacional y vertical, velocidad de muestreo, entre otros. La visualización de la nube de puntos del contorno del objeto se obtiene al formar una matriz de distancias que guarda concordancia con los parámetros ingresados.

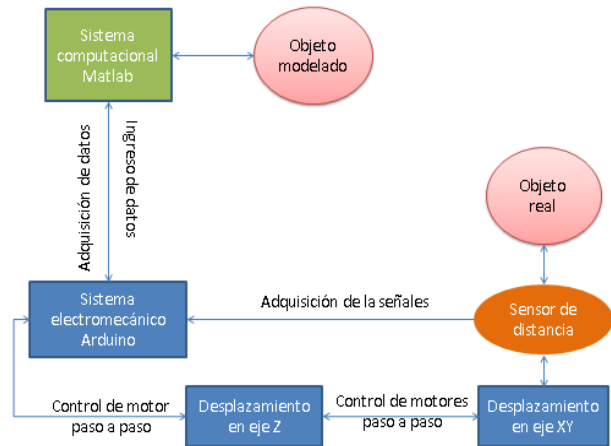


Figura 1. Estructura de implementación

3.2 Sistema electromecánico

Es la estructura mecánica y electrónica que guía el desplazamiento del sensor alrededor del objeto y a diferentes alturas, hasta tomar muestras de todo el contorno. El sensor se ubica sobre un brazo de aluminio cuyo movimiento rotacional se realiza mediante un sistema de poleas acopladas a un motor a pasos mientras que el movimiento vertical se obtiene mediante un tornillo sinfín acoplado a un segundo motor a pasos. El sistema es controlado por una tarjeta de desarrollo Arduino que se encarga de dar las señales necesarias para comandar a los motores, así como la adquisición de datos desde los sensores de acuerdo a la configuración realizada en el HMI, los datos son almacenados en una memoria SD para después ser descargados al HMI y así formar la matriz para la nube de puntos, la Tabla 1 muestra un detalle de los componentes del sistema y en la Figura 2 se puede observar su construcción.

Tabla 1. Componentes del banco de pruebas.

No	Componente
1	Motor paso a paso rotación eje XY
2	Motor paso a paso vertical eje Z
3	Base central
4	Eje central
5	Polea
6	Brazo de aluminio
7	Sensores

8	Arduino uno
9	Memoria sd
10	Fuente de alimentación

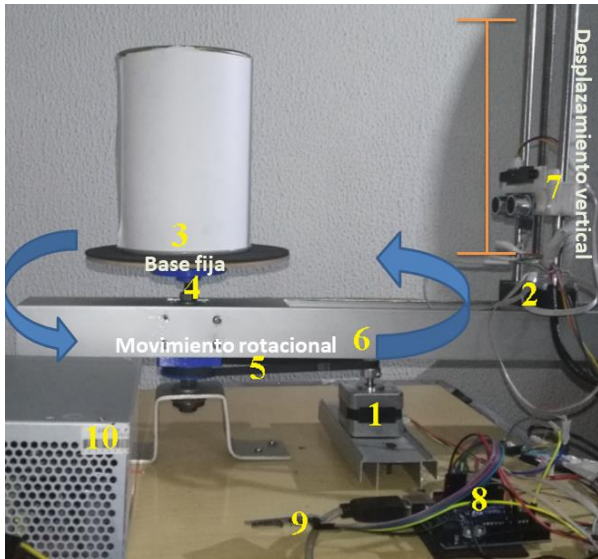


Figura 2. Banco de pruebas sistema electromecánico

3.3. Sensores

De acuerdo a una previa investigación del estado del arte con respecto a la implementación de un scanner tridimensional los sensores con mejores prestaciones para adquirir la distancia al objeto son los que poseen el principio de medición que se muestran en la Tabla 2, en este estudio se utilizan los sensores de distancia de láser SHARP GP2Y0A41SK0F y ultrasónico HC-SR04. Estos sensores disponen de rangos de medida que se adaptan a los límites de la estructura mecánica, además de que están disponibles en el mercado nacional y son de bajo costo. [11]

Tabla 2. Tipos de sensores de distancia

Grandes distancias	Distancias pequeñas
Radar	Métodos ópticos
Infrarrojo	Métodos Inductivos (LDT y VDT)
Ultrasónico	Métodos resistivos y capacitivos

4. Pruebas y resultados

Para obtener los datos cualitativos de cada uno de los sensores en la implementación de un escáner tridimensional se realizan varias pruebas en las que se varía las condiciones de adquisición de medidas de distancia y posteriormente se contrasta la nube de puntos. Considerando las facilidades del sistema electromecánico se realizan las siguientes pruebas:

- Prueba de exactitud
- Prueba de barrido
- Resolución (límites de velocidad)
- Prueba de distancia
- Influencia del ambiente

A. Prueba de exactitud

El objetivo de esta prueba es obtener la exactitud de cada sensor en la medición de distancia para así establecer su margen de error; considerando las limitaciones de la estructura mecánica. Los sensores son ubicados entre 10[cm] y 30[cm] de distancia del objeto, a intervalos de 5[cm] para obtener suficientes datos y cubrir todo el rango de medición; se realizan 5000 mediciones sin alterar la posición del sensor, los datos obtenidos se analizan para determinar la exactitud y precisión de cada sensor. Los resultados de este análisis para diferentes distancias de separación entre el objeto y el sensor se muestran en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3. Medidas de distancia con el sensor tipo infrarrojo SHARP GP2Y0A41SK0F

Distancia real (cm)	Distancia media (\bar{x})	Desviación Estándar (σ)
10	10,635	0,55943
15	14,695	0,82769
20	20,687	1,9319
25	25,037	2,6826
30	31,05	3,7467

Tabla 4. Medidas de distancia con el sensor ultrasónico HC-SR04.

Distancia Real (cm)	Distancia media (\bar{x})	Desviación Estándar (σ)
10	10,885	0,0576
15	15,078	0,12762
20	18,943	0,18963
25	24,941	0,23628
30	30,529	0,41499

Considerando los resultados se obtiene que la precisión del sensor infrarrojo es 5.26 % y del sensor ultrasónico es de 0.529% respecto a la dispersión del conjunto de datos. La exactitud promedio del sensor infrarrojo es 0.148% y del sensor ultrasónico es de 0.236 %; Adicionalmente, se puede observar que a 10 [cm] de separación se tiene la mejor repetitividad, mientras que el menor error se da con una separación de 25 [cm].

B. Prueba de barrido

Para obtener mediciones del contorno de un objeto se lo puede rodear con desplazamiento circular o lineal. El objetivo de esta prueba es determinar la mejor técnica de desplazamiento para obtener el modelo digital; se experimentó con objetos de contorno circular y de contornos planos con presencia de ángulos. Las medidas se tomaron para los dos tipos de barrido con una distancia de separación de 25 [cm], medidos desde el centro de la base fija, y a intervalos de 3° para el barrido circular y 0.5 [cm] para el barrido lineal, intervalos menores generan muchas mediciones redundantes, la nube de puntos obtenida con el HMI se puede observar en la Figura 3.

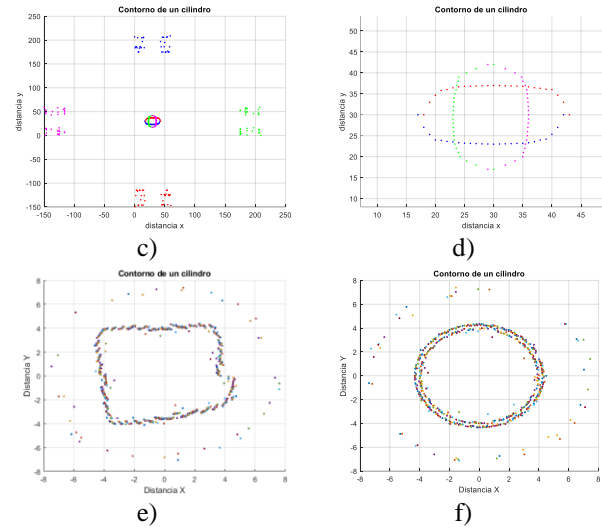
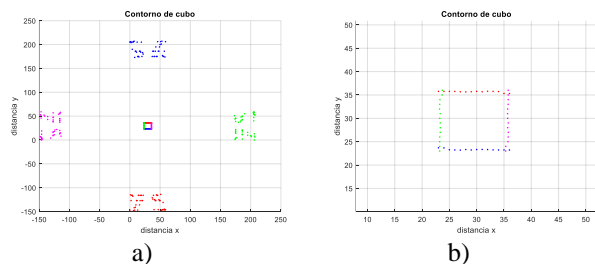


Figura 3. Resultados de la prueba de barrido para un objeto cubico y cilíndrico. a) Cubo con barrido lineal. b) Acercamiento al contorno del cubo. c) Cilindro con barrido lineal. d) Acercamiento al contorno del cilindro. e) Cubo con barrido circular. f) Cilindro con barrido circular.

De acuerdo a la Figura 3, con el barrido lineal para objetos circulares se obtiene un modelo elíptico mientras que para objetos con caras planas el modelo es muy aproximado al real, adicionalmente se obtienen muchas medidas fuera del objeto que requieren ser eliminadas del modelo.

Con el barrido circular los objetos circulares tienen un modelo muy aproximado al real mientras que el objeto con caras planas genera un modelo con curvaturas. En este caso todas las mediciones son del objeto, existen muy pocas medidas fuera.

C. Resolución

Mientras más medidas se adquieran de un objeto, más real será su modelo digital; sin embargo, requerirá mayor procesamiento por redundancia de datos. El objetivo de esta prueba es determinar la resolución máxima que se puede obtener con cada sensor, de manera que los datos adquiridos muestren todo el contorno del objeto con la menor cantidad de datos redundantes; en esta prueba se adquiere el contorno de un objeto cilíndrico utilizando barrido circular, las medidas se toman a diferentes desplazamientos, desde 0.6° de acuerdo a los limitantes de la estructura mecánica.

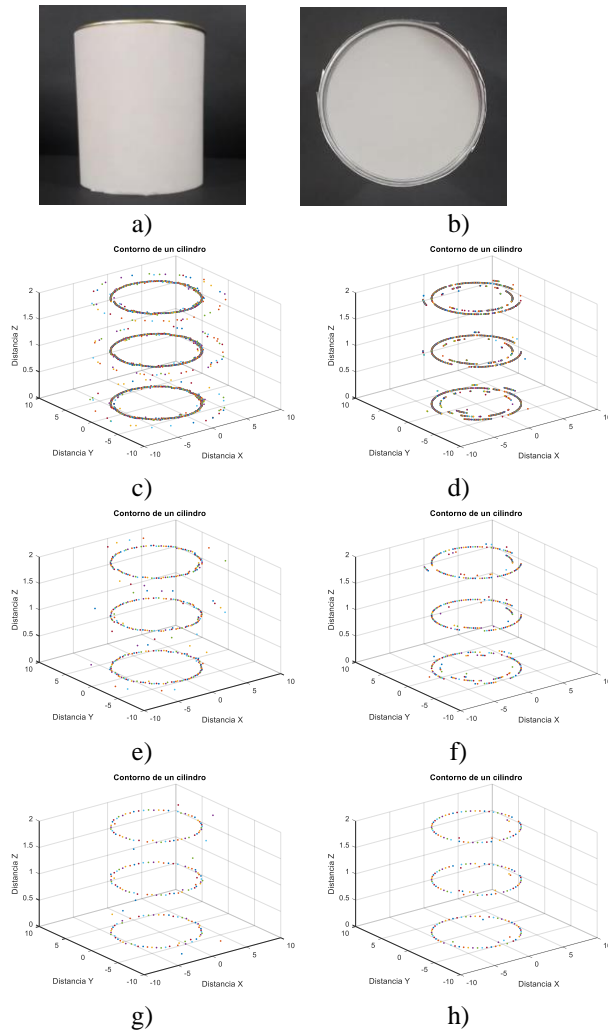


Figura 4. Contornos obtenidos para un objeto cilíndrico a) Vista lateral del objeto. b) Vista superior del objeto. c) Sensor infrarrojo, intervalos de 0.6° d) Sensor ultrasónico, intervalos de 0.6° e) Sensor infrarrojo, intervalos de 3° . f) Sensor ultrasónico, intervalos de 3° . g) Sensor infrarrojo, intervalos de 6° . h) Sensor ultrasónico, intervalos de 6°

En la Figura 4 se muestran algunos resultados obtenidos. Para ambos sensores se obtiene un mejor modelo cuando las medidas se realizan a intervalos de 0.6° , intervalos más grandes generan espacios vacíos en la nube de puntos. También se obtiene que el sensor tipo láser adquiere un modelo más real ya que con el sensor ultrasónico se aprecia un doble contorno. Esto se repite en cada prueba realizada.

D. Prueba de distancia

Se busca analizar la influencia de la distancia de separación entre el objeto y el sensor en las mediciones mientras se realiza un barrido circular y obtener límites recomendables para obtener un buen modelo digital. Para esta prueba se obtiene el modelo del objeto manteniendo el desplazamiento en 0.6° , de acuerdo a los resultados de la anterior prueba, y variando la separación del sensor desde 10 [cm] hasta 30 [cm] medidos desde el centro de la base, de acuerdo con los limitantes de la estructura mecánica.

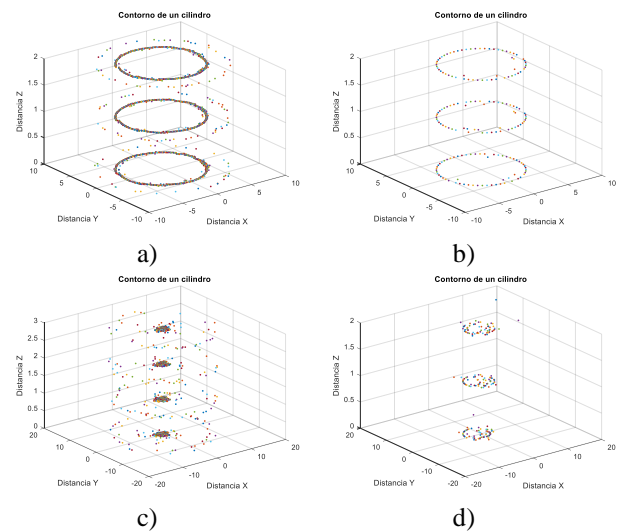


Figura 5. Resultados de la prueba de distancia a) Sensor infrarrojo, distancia 13cm b) Sensor ultrasónico, distancia 13cm c) Sensor infrarrojo, distancia 28 cm d) Sensor ultrasónico distancia, 28cm

En la Figura 5 se aprecian algunos resultados obtenidos, para los dos sensores se puede observar que mientras más cerca se encuentre el sensor del objeto se obtiene un mejor modelo digital, a partir de los 15 [cm] de separación el modelo comienza a presentar vacíos y a mayor distancia se distorsiona por completo.

E. Influencia del ambiente

Mediante esta prueba se desea determinar la influencia del ambiente de experimentación al momento de escanear un objeto. Teniendo en cuenta las diferentes pruebas de exactitud, barrido, resolución y distancia se adquirió el

contorno del objeto mostrado en la Figura 6a en tres días diferentes, a la misma hora, en un ambiente interno y externo, los resultados se muestran en la figura 6.

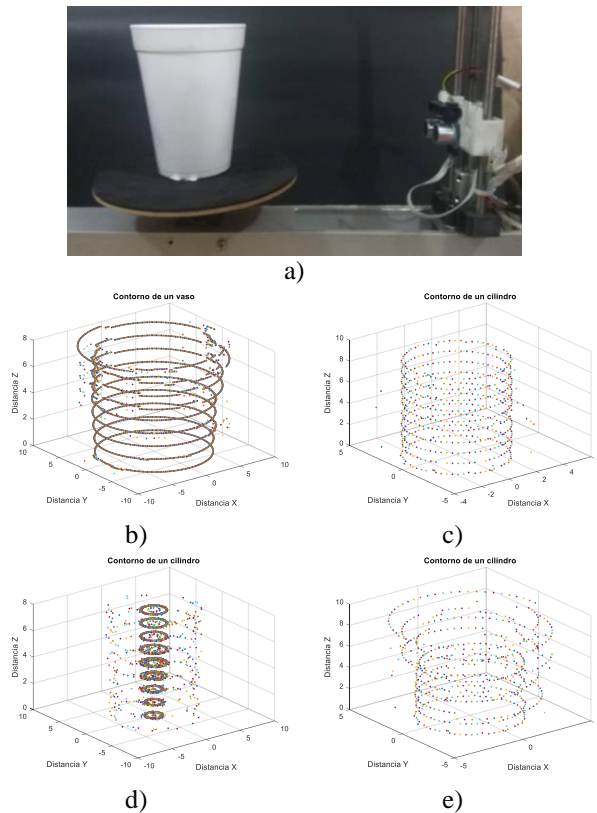


Figura 8. Prueba de Influencia del Ambiente a) Objeto real b) Sensor infrarrojo, ambiente interior. c) Sensor ultrasónico, ambiente interior. d) Sensor infrarrojo, ambiente exterior. e) Sensor ultrasónico, ambiente exterior.

Observando la nube de puntos se puede apreciar que, al trabajar en un cuarto cerrado llamado ambiente interno, se adquiere una forma más aproximada al objeto real, mientras que al aire libre no se detecta la forma cónica del objeto y hay presencia de varios puntos falsos que se pueden deber a la presencia de polvo o la influencia del viento en las mediciones. Este efecto tiene mayor influencia en el sensor ultrasónico.

5. Conclusiones

De acuerdo a las diferentes pruebas realizadas, el sensor infrarrojo obtiene mejores resultados que el sensor ultrasónico al adquirir la nube de puntos del contorno de un objeto, al utilizar una estructura de base fija con barrido circular. Esta estructura es apropiada para objetos con contornos circulares y sin presencia de ángulos, los mejores resultados se obtienen al trabajar en un ambiente cerrado, con una distancia de separación de 10 [cm] a 15[cm] entre el objeto y el sensor y con un desplazamiento circular de 0.6° entre cada medición para así disminuir la cantidad de espacios vacíos y puntos falsos. Para objetos con caras planas y presencia de ángulos, conviene utilizar un barrido lineal, ajustando el desplazamiento del sensor a los límites del objeto. Para que el modelo digital quede completo y pueda ser utilizado, la nube de puntos adquirida debe someterse a un procesamiento digital que elimine los puntos falsos y forme el contorno del objeto rellenando espacios vacíos.

6. Referencias

- [1] J. M. Gutierrez-Villalobos, T. Dimas and J. C. Mora-Vazquez, "Simple and low cost scanner 3D system based on a Time-of-Flight ranging sensor," 2017 XIII International Engineering Congress (CONIIN), Santiago de Queretaro, 2017, pp. 1-5.
- [2] Oscar Duque, Javier Hernández, Daniel Alvarado, Andrés Puente "Diseño de un sistema de perfilacion de férulas mediante el escaneo 3D de muñeca, brazo y tobillo para fines impresión 3D" Revista Infometric@, Pamplona – España (enero ,2019)
- [3] Hongping Zhang, Yongning Wen, Guonian Lv, Jingwei Shen and Xiao Wang, "Research on constructing 3D scenelite model based on 2D structure drawings of buildings," 2010 The 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology, Wuhan, 2010, pp. 511-514

- [4] J Orozco, A Romero, A Marín, J Jiménez “Modelado 3D de objetos usando Matlab mediante sensores ultrasónicos” Revista Colombiana de tecnología de avanzada, 2014, No 23 Colombia.
- [5] Daniel López Escogido “Escáner 3D de alta precisión” proyecto previo a la obtención de título Doctor en ciencias de la comunicación Instituto Politécnico Nacional sede México 2016.
- [6] Germán Corona Ramírez L, Abarca Jiménez GS, Mares Carreño J. Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino. Distrito Federal: Grupo Editorial Patria, pp 142-170, 2014
- [7] sensor infrarrojo. (2019) datasheet SHARP GP2Y0A41SK0F. [Online]. Available. <https://www.pololu.com/file/0J713/GP2Y0A41SK0F.pdf>
- [8] sensor ultrasónico. (2019) datasheet HC-SR04. [Online]. Available. <https://www.microkitselectronica.com/media/attachment/file/h/c/hcsr04.pdf>
- [9] arduino. (2019). [Online]. Available. <https://www.arduino.cc/>
- [10] MatLab. (2019). [Online]. Available. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- [11] J. Bucheli, L. Velásquez “Diseño e implementación de un módulo didáctico con sistema HMI para el análisis y estudio de sensores y transductores de proximidad analógicos por medio de la tarjeta de adquisición de DAQ NI y controlada por el software Labview” proyecto previo a la obtención de título de Ingeniero Electrónico Universidad Politécnica Salesiana sede Quito sur Ecuador 2014.
- [12] J Cajas, J Musuña, L Oñate, B Campusano “Diseño y construcción de un escáner bifocal para la obtención de una nube de puntos a través de filtrado y adquisición de imágenes” Revista Ingenius, 2014, No 11 Ecuador.
- [13] C. García and E. Narváez “sistema prototipado de scanner óptico tridimensional” proyecto previo a la obtención de título de ingeniero Electrónico Universidad Politécnica Salesiana sede Quito sur Ecuador 2007.
- [14] D. S. Lavrinov and A. I. Khorkin, "Problems of internal calibration of precision laser triangulation 2D scanners," 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Chelyabinsk, 2016, pp. 1-4
- [15] J. Ambrosio, L. Patiño “Implementación de un sistema para digitalización de objetos 3D por métodos óptico” proyecto previo a la obtención de título de Ingeniero Automatización Universidad de la Salle, Bogotá D.C - Colombia 2015.